

## 給電点構造を考慮したアンテナの電磁界解析手法と その応用に関する研究

著者	中村 隆
号	590
発行年	1976
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9326">http://hdl.handle.net/10097/9326</a>

氏 名	なか 中	むら 村	たかし 隆
授 与 学 位	工	学	博 士
学位授与年月日	昭和 5 2 年 3 月 2 5 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 ( 博士課程 ) 電気及通信工学専攻		
学 位 論 文 題 目	給電点構造を考慮したアンテナの電磁界解析法とその 応用に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 佐藤利三郎		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 佐藤利三郎	東北大学教授 虫明	康人
	東北大学教授 西田 茂穂	東北大学教授 安達	三郎
	東北大学助教授 長沢 庸二		

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 緒 論

アンテナの電磁界に関する研究は古くから多くの研究者によってなされ、その理論体系が構成されているが、解析および合成における数学的手法の複雑さ、困難さ、および厳密な解を得る上での困難さなどの理由により未だ充分解明されていない分野が少なくない。その1つとして、アンテナの給電点構造の取扱いに関する問題が挙げられる。給電点構造はアンテナの電磁界に影響を与える重要な要素であるが、その給電間隙の電界分布を考慮した解析は少なく、実際的な給電点構造に対する給電間隙の電界分布を求める手法の検討は未だ充分になされていない。

一方、任意の回転体構造を有するアンテナは、従来の円筒、円錐体および回転円体を含んでいる事から、より一般的なアンテナとして取扱われはじめ、最近その給電点構造を考慮した解析

が検討されている。しかし、この回転体に対するハレン型積分方程式は、解の収束が速いなどの有利な点を有するけれども、積分核が複雑であるため数値計算が困難でありほとんど適用されていない。

本研究では、これらの背景のもとに、まず、アンテナの理論体系の基礎を確立する上において重要と思われる給電点構造の取扱いについて論じ、その応用として、従来十分に検討されていなかった給電構造を考慮した一般的な回転体アンテナを研究の対象とし、その解析に必要な積分方程式の導出を示し、又、アンテナの諸特性を論じる。

## 第2章 円筒状アンテナの給電点構造に関する解析

本章では、円筒状アンテナの給電点構造の取扱いに関する解析を行ない、給電点構造を考慮した有限長円筒状アンテナを解析する基礎を与えた。

まず、従来円筒状アンテナの解析に用いられてきた各種給電点構造を示し、その特徴について述べ、図1に示す様な同軸線路により給電される円筒状アンテナと構造上等価的に取扱えるのは、図2に示す環状および帯状の給電点構造を有する円筒状アンテナである事を示した。

次に、同軸線路により給電される半無限長円筒状アンテナを解析し、その給電間隙における開口面電界分布を求める手法を示した。この手法を用いて求めた開口面電界分布の1例を図3に示す。但し、図3(a)は図1(a)の $\rho$ 方向の開口面電界 $E(\rho)$ を表わし、開口面で仕切られた各領域の誘電率の比 $\epsilon_1/\epsilon_2$ をパラメータとしている。又、図3(b)は図1(b)の $z$ 方向の開口面電界 $E(z)$ を表わし、アンテナの半径と間隙との比 $b/a$ をパラメータとしている。なお、図に示す $V$ は開口面における電位差である。図3より、開口面電界分布は従来仮定されていた同軸線路のTEMモード分布あるいは一様分布と著しく異なる事が判かる。

更に、この開口面電界分布を用いて入力アドミタンスも求め、給電点構造がアンテナ特性におよぼす影響を明らかにした。この結果、同軸線路で給電される円筒状アンテナと環状および帯状の給電点構造を有する円筒状アンテナとの取扱いの等価性は、給電部付近の電磁界および入力アドミタンスの相違を除けば成立する事が明らかとなった。

又、給電間隙幅が波長に比べて充分小さい場合、給電点構造が入力アドミタンスにおよぼす影響は容量的な成分として分離できる事を示した。更に、この容量的な成分に相当する補正アドミタンスを環状あるいは帯状の給電点構造を有する円筒状アンテナの入力アドミタンスに加える事で、同軸線路により給電される円筒状アンテナと対応できる手法を示した。例えば、図1(a)のアンテナに対する図2(a)のアンテナの補正アドミタンス $Y_{Tf}$ は式1)で表示される。但し、図2(a)の磁流源分布は同軸線路のTEMモード分布とする。

$$Y_{TF} \doteq -j 4 \omega \varepsilon_2 a \left[ 1 - \ell_n 2 + \frac{4 \ell_n 2 - 3}{2 + \pi (0.4634 \varepsilon_2 / \varepsilon_1)} \right] \quad (1)$$

ここに、 $\omega$  は角周波数である。

従って、有限長円筒状アンテナを解析する場合、理論的な環状磁流源を給電点構造として考慮すれば良く、又、その磁流源分布を同軸線路のTEMモードと仮定すれば、より取扱いが容易となり、式(1)の補正アドミタンスを加えるだけで具体的な同軸線路で給電されるアンテナの入力アドミタンスを得る事ができる。

### 第3章 環状給電間隙を有する回転体アンテナの拡張されたハレン型積分方程式

ハレン型積分方程式による解析法は、他の解析法に比べて解の収束が速く、又、積分核の性質から計算時間も短いため数値解析に便利である。本章では、図4に示す様な環状給電間隙を有する一般的な回転体アンテナに対する拡張されたハレン型積分方程式を導出し、次式に示す様に、積分核を数値解析に有利な比較的簡単な閉じた形式で表示できる事を示した。

$$\int_{-h_1}^{h_2} dz' I_t(z') \left\{ 1 + \frac{\partial a(z')}{\partial z'} \cdot \frac{z - z'}{a(z')} \right\} \frac{e^{-jkR}}{R} = C_1 \cos kz + C_2 \sin kz \\ - j \frac{4\pi}{\zeta_0} \int_0^z dz' E_z^{inc}(z') \sin k(z - z'), -h_1 < z < h_2 \quad (2)$$

ここに、 $R = [(z - z')^2 + a^2(z')]^{1/2}$  であり、 $E_z^{inc}$  は環状磁流源によって $z$ 軸に印加される $z$ 方向の電界である。

$$E_z^{inc}(z) = \frac{V}{\ell_n(\rho_b/\rho_a)} \left\{ \frac{e^{-jk\sqrt{z^2 + \rho_a^2}}}{\sqrt{z^2 + \rho_a^2}} - \frac{e^{-jk\sqrt{z^2 + \rho_b^2}}}{\sqrt{z^2 + \rho_b^2}} \right\} \quad (3)$$

又、 $k$  および  $\zeta_0$  は、各々空間の伝搬定数および特性インピーダンスであり、 $a(z')$  および  $I_t(z')$  は、各々  $z = z'$  におけるアンテナの半径およびアンテナ表面の全電流である。なお、 $C_1, C_2$  はアンテナの境界条件より決定される積分定数である。

式(2)の積分方程式は、2次元以上の積分を含む従来の積分方程式に対して、1次元の積分で表わされる積分方程式に簡単化されており、アンテナの太さに制限の無い理論的に厳密な積分方程式である。

### 第4章 給電点構造を考慮した回転体アンテナの解析

本章では、給電点構造を考慮した回転体アンテナに対し、第3章で述べた解析手法により数値解析を行なった。先端が半球である円筒状アンテナおよび先端と給電部が円錐状であるコニカルアンテナについて、アンテナの電流分布、入力アドミタンスおよび放射特性などの諸特性を求めた。

円筒状アンテナが波長に比べて比較的細い場合でも、アンテナの先端の構造が入力アドミタンスを決定する重要な要素となっており、図5に示す様に、先端が半球である円筒状アンテナの実験結果（文献）と良好な一致が見られた。又、円筒状アンテナの先端および給電点付近の電流分布の特徴を明らかにし、特に給電点付近の電流分布の変化は比較的簡単な関数で表示できる事を示した。

同軸線路により給電されるコニカルアンテナは、実際の給電点構造としてその同軸線路の構造を無視する事ができない。図6に示す入力アドミタンスの変化から判かる様に、給電点構造のわずかな変化により、アンテナの特性が著しく変化する場合があり、給電点構造がアンテナの特性を決定する重要な因子となっている事を明らかにした。又、コニカルアンテナの特性は、給電部の円錐状領域が波長に比べて比較的大きい場合と小さい場合でかなりの違いがある事を示した。特に、同軸線路が充分小さく、給電部の円錐状領域が $1/4$ 波長以上の場合、電流分布はこの領域で進行波的な分布となり、入力アドミタンスはこの領域の特性アドミタンスに近い一定値となって、進行波形の広帯域アンテナである事を明らかにした。

更に、コニカルアンテナの入力アドミタンスに関する実験を行ない、理論値と良く一致する測定結果が得られた事により、本解析法の有用性を明示した。

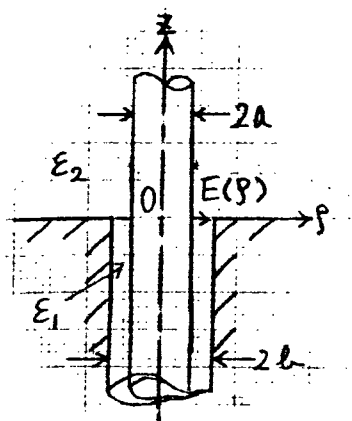
第5章は、結論である。

以上要するに、本論文はアンテナの特性に影響をおよぼす給電点構造に着目して、給電点構造を考慮したアンテナの電磁界解析手法を示し、更に給電点構造がアンテナ特性を決定する重要な因子である事を定量的に明示した。

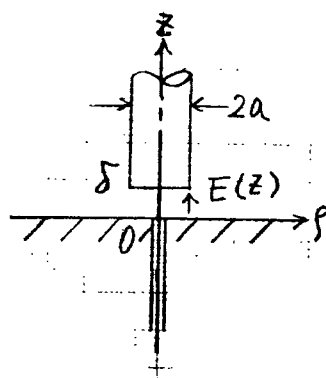
## （文 献）

R. W. R. King: "Tables of Antenna Characteristics"

New York:IFI/Plenum, 1971.

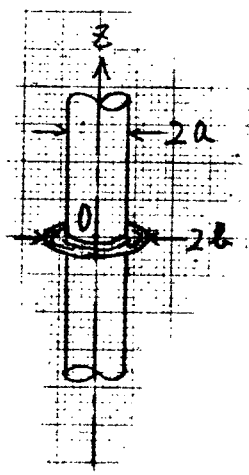


(a) 同軸線路の内導体がアンテナ  
の太さと等しい場合

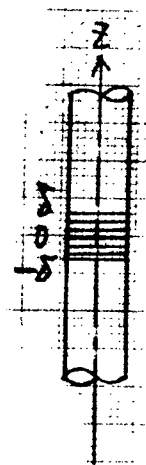


(b) 同軸線路が充分細い場合

図 1 同軸線路で給電される円筒状アンテナ

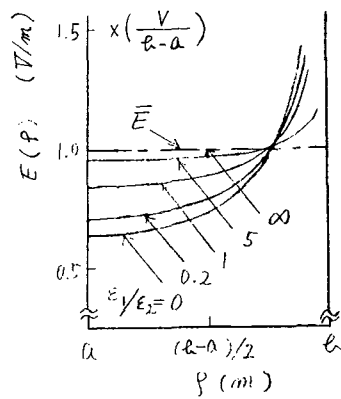


(a) 環状給電間隙

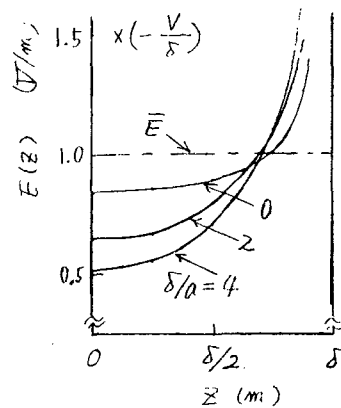


(b) 帯状給電間隙

図 2 環状および帯状の磁流源で給電される円筒状アンテナ



(a)  $E(\rho)$



(b)  $E(z)$

図3 開口面の電界分布  
( $\bar{E}$ : 従来仮定されていた分布)

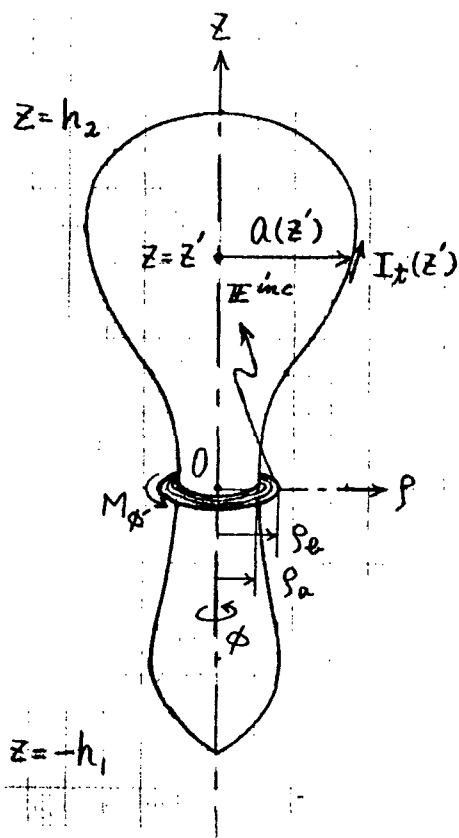


図4 円筒座標系における  
回転体アンテナ

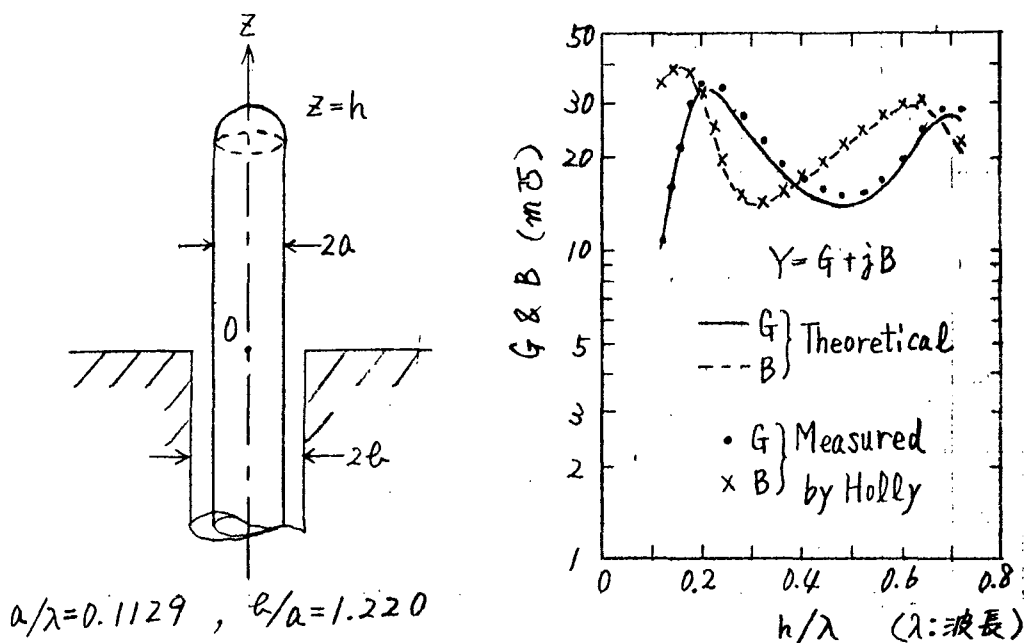


図5 円筒状アンテナの構造および入力アドミタンス

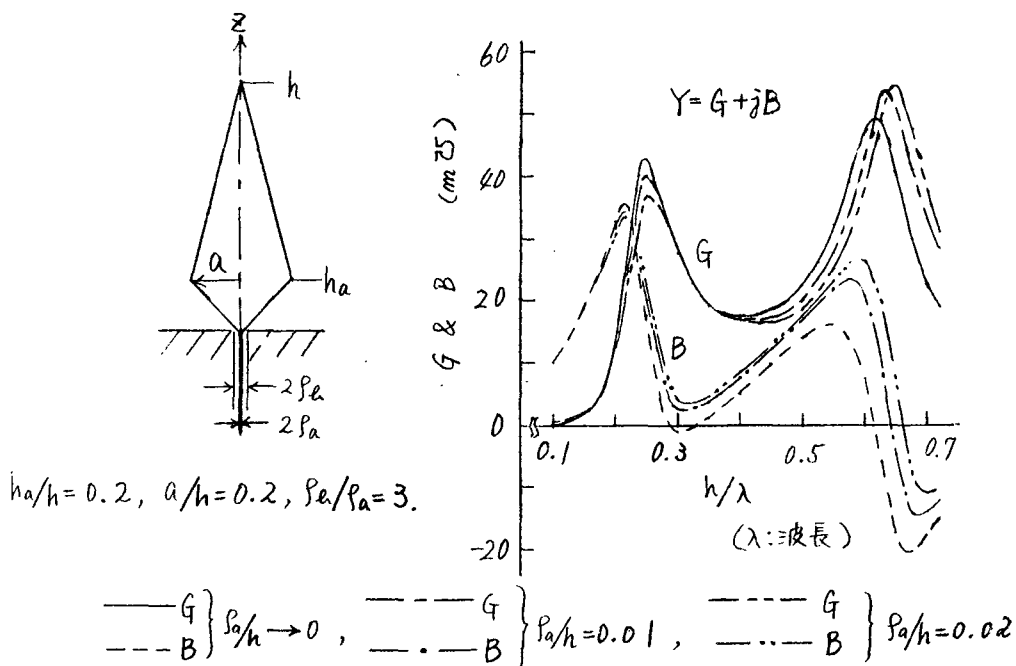


図6 コニカルアンテナの構造および入力アドミタンス



## 審 査 結 果 の 要 旨

アンテナの電磁界に関する解析は古くから数多く行われ、理論体系がととのい、また成果は広く活用されている。しかし、アンテナの電磁界に影響を与える重要な要素である給電点構造を考慮した解析は少ない。著者は給電点構造を考慮したアンテナの電磁界解析手法を研究し、その手法を用いて新しいアンテナ構造の電磁界解析に関する研究を行った。本論文は、それらの成果をとりまとめたもので全文5章よりなっている。

第1章は緒論である。第2章では、円筒状アンテナの3種類の基本的給電点構造について解析を行っている。すなわち、給電点における電磁界の分布および入力アドミタンスについて解析し、給電点構造による電磁界等の相異を明らかにしている。また環状磁流源で給電された場合を基本とする補正アドミタンスを定義して、他の給電法に利用できることを明らかにし、それを定量的に示している。

第3章では、任意の回転体構造を有するアンテナが環状磁流源で励振された場合の解析に有用な、拡張されたハレン形積分方程式を導出している。これにより、アンテナの太さに制限なく、アンテナ端部の境界条件を満足する解析が可能となった。これはアンテナの数値解析手法として貴重な成果である。

第4章では、先端が半球である円筒アンテナおよび円錐状アンテナについて、第3章で述べた解析手法により数値解析し、電磁界、電流分布および入力アドミタンスを計算した結果を述べ、給電点構造がアンテナの特性を決定する重要な因子であることを定量的に示している。また実験結果と理論解析結果の一致により、本解析法の有用なことを明示している。

第5章は結論である。

以上要するに、本論文はアンテナの特性に影響を与える給電点構造を含むアンテナの数値解析手法を明示し、給電点構造がアンテナ特性に与える影響を明らかにし、アンテナ設計上必要な資料を提示したもので通信工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。